

# 아파트 환경의 광대역 무선랜 채널 모델

강노경<sup>o</sup>, 최진원, 전남열, 김성철

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

## Wideband Channel Model for Wireless Local Area Network in Apartments

Noh-Gyoung Kang<sup>o</sup>, Jinwon Choi, Nam-Ryul Jeon and Seong-Cheol Kim

School of Electrical Engineering and Computer Science, Institute of New Media and Communication

Seoul National University

skkim@maxwell.snu.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 현재 상용화 되어 있는 2.4GHz 무선랜 대역 및 차후 제공될 예정인 5.8GHz 대역의 광대역 무선 채널 특성에 대해서 측정에 기반한 모델을 제시하고자 한다. 무선 채널 측정을 위하여 의사잡음 상관기법을 이용한 무선 채널 측정 시스템을 직접 제작하였으며 우리나라의 대표적인 주거 형태인 아파트 환경에서 무선 채널을 측정하였다. 사람의 움직임을 배제하기 위해 아직 사람이 입주하지 않은 아파트 건물에서 측정을 수행하였고 송신기의 위치는 한 가옥의 중심 부분에 위치하였으며 거실 및 각 침실에서 사용 예정 지역에 수신기를 놓고 측정하였다. 100MHz의 광대역 채널의 특성을 측정 및 분석하여 채널의 충격 응답 및 평균 초과 지연 및 RMS 지연 확산을 계산하였다. 또한 2.4GHz와 5.8GHz의 채널의 특성을 비교하여 제시하였으며 이를 바탕으로 시뮬레이션 등에 널리 사용되고 있는 Tapped Delay Line 모델과 탭 간의 상관 계수를 제시하였다. 전반적인 측정 결과 2.4GHz 대역에서는 전파의 감쇄가 크지 않아 인접 가옥에서 유입된 신호의 영향으로 채널 간섭이 있을 수 있으나 5.8GHz 대역에서는 상대적으로 전파의 감쇄가 크기 때문에 인접 가옥에서 유입된 신호의 영향은 무시할 수 있는 것으로 나타났다.

### 1. 서론

유선 인터넷 시장뿐 아니라 무선 인터넷 시장이 점차 커지면서 IEEE 802.11a 및 802.11b/g로 대표되는 무선랜(WLAN, Wireless Local Area Network) 시스템이 점점 널리 설치되어 사용되고 있으며 이에 대한 채널의 특성 분석 등이 다수 행해지고 있다[1][2]. 그러나 이는 사무실 환경 및 외국의 주거 환경 등에 대한 측정결과를 바탕으로 한 것이 대부분이다. 우리나라의 경우는 아파트가 대표적인 주거 공간이며 또한 새로운 실내 통신 시스템이 도입되면 제일 많은 수요를 창출하리라 예상되는 곳도 아파트이다. 아직까지 아파트 환경에서의 무선 채널 연구는 소수의 연구 결과만이 나와 있으며[3][4] 2.4GHz와 5.8GHz 대역의 비교는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 아파트 환경에서 측정한 광대역 채널의 특성을 바탕으로 이웃한 집으로의 전파 투과 분석, 채널 파라미터 분석 등을 수행하였으며 더불어 2.4GHz 대역과 5.8GHz 대역의 결과를 비교 제시하

였다.

실험은 의사잡음 상관기법(pseudo noise correlation method)을 이용한 광대역 충격응답 측정 시스템을 제작하여 수행하였다. 오실로스코프에 연결된 컴퓨터에서 수집한 데이터를 이용하여 채널의 충격응답(impulse response) 그래프를 도출하였으며 이를 바탕으로 무선 통신 환경의 특성을 대표할 수 있는 평균 초과 지연(mean excess delay) 및 RMS 지연 확산(Root Mean Square delay spread)을 도출하였다. 또한 무선 채널을 환경별로 분류하여 탭 지연선 모델(Tapped delay line model)을 제시, 비교하였다.

본 논문의 다음과 같이 구성되었다. 제 II 절에서 실험 시스템 구성 및 실험 환경에 대하여 설명하고, 제 III 절에서는 실험 결과를 제시하고 분석을 하였으며 제 IV 절에서는 결론으로 마무리하고자 한다.

### 2. 실험 시스템 구성 및 실험 환경

광대역 무선 채널의 충격응답을 구하기 위해 제

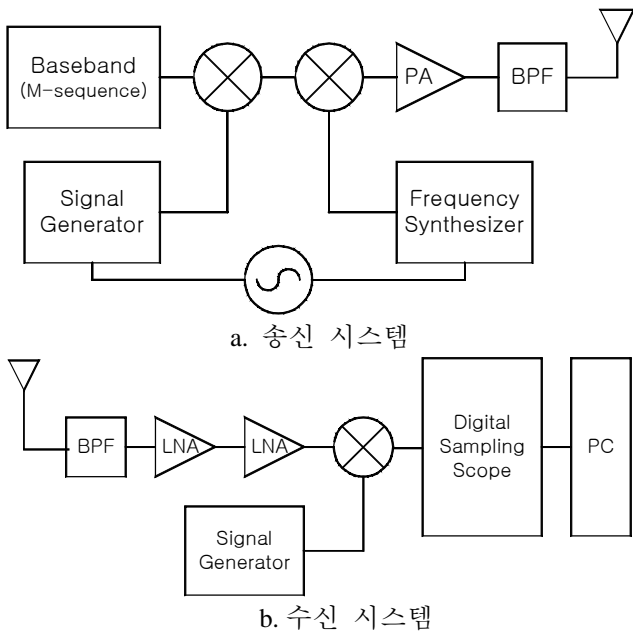


그림 1. 측정시스템 블록도

작한 측정 시스템은 의사잡음 상관기법을 이용하여 구성하였으며 시스템 블록 다이어그램은 그림 1에서 보는 것과 같다[5]. 측정 시스템은 기저대역(base band)에서 50MHz의 수정 발진자를 이용하여 4095개의 칩(chip) 길이를 가지는 m-시퀀스를 생성한 후 신호발생기에서 나온 반송파를 이용하여 각각 2.4GHz 및 5.8GHz의 무선 신호를 송신한다. 충분한 동작범위를 확보하기 위해 30dBm까지 선형적으로 동작하는 전력증폭기를 이용하여 신호를 송신하였으며 사용된 대역통과필터(BPF)의 대역폭은 100MHz이다. 무선 채널을 통과한 후 수신 안테나에 유입된 신호는 송신단과 동일한 대역폭을 가지는 대역통과필터를 통과한 후 저잡음 증폭기(LNA)를 통해 검출 가능한 신호로 증폭하였고, 신호발생기를 이용하여 200MHz의 중간주파수로 하향 변환

하여 디지털 오실로스코프에서 250MS/s의 속도로 표본 추출한 후 GPIB 인터페이스를 이용하여 PC에 저장하였다. 측정이 끝난 후에 PC에서 기저대역으로 하향 변환한 다음 저역통과필터(LPF)를 적용한 후 송신시에 사용한 알고리즘과 상호상관을 수행하면 구하고자 하는 채널의 충격응답이 도출된다. 측정에 사용된 안테나는 4.6dBi를 갖는 무지향성 안테나로 송,수신 모두 1.7m 높이에 설치하였다.

측정 실험을 진행한 아파트는 서울 동작구에 위치하고 있는 15층, 통로식 형태의 건물이다. 한 가옥의 크기는 32평으로 평면도는 그림 2에 나타나 있다. 건물 벽의 주된 재료는 콘크리트이며, 아직 입주하지 않은 상태이므로 사람과 가구들에 의한 시변 특성은 고려되지 않았다.

송신기는 무선랜 시스템에서 AP의 역할을 하기 때문에 송신기의 위치는 한 가옥을 온전히 서비스할 수 있을 것으로 예상되는 가옥의 한 가운데가 바람직하므로 측정시 송신기는 TV 및 전화선이 들어오는 거실의 한쪽 벽면 부근에 설치하였다.

수신기는 송신기를 중심으로 거실 및 각 방에 놓고 수신하였으며, 기준이 되는 가옥을 중심으로 좌,우의 가옥에서도 유입되는 신호를 측정하였다. 각 수신 지점마다 200번의 채널 충격응답을 얻었으며 각 충격응답 간의 시간 간격은 약 1초이다.

측정 지점을 살펴보면 A1 ~ A5로 표시된 부분은 LOS(Line of Sight)가 확보되는 지점으로 거실의 주요 측정 위치들이다. B1 ~ B7로 지칭되는 부분은 벽을 하나 또는 둘 정도 투과하여 전파가 도달할 수 있는 부분으로 한 가옥을 구성하고 있는 침실, 화장실, 발코니 등이며 C1 ~ C5로 표현되는 부분은 벽을 둘 또는 셋 투과하여야 전파가 도달 가능한 부분으로 좌우의 인접한 가옥의 제일 가까운 침실과 발코니 부분이다.

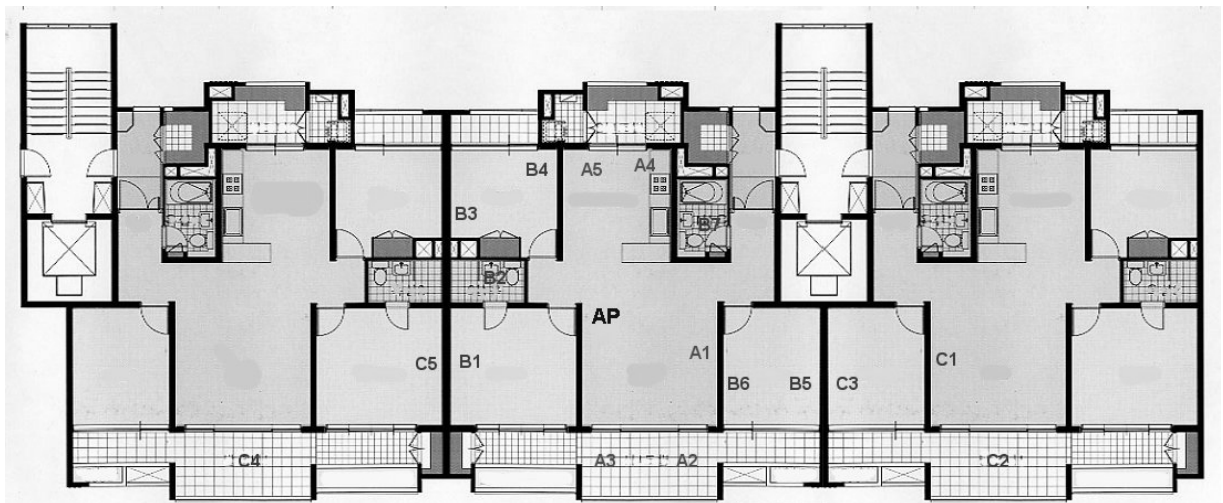


그림 2. 측정 장소 평면도

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1. 채널 충격응답

그림 3의 a,c,e는 2.4GHz 대역의 채널 충격응답이고, b,d,f는 5.8GHz 대역의 채널 충격응답이다. a,b와 같이 송수신기 사이에 벽이 없어 LOS가 확보되는 경우에는 충격응답의 절대치가 높게 나타나며 다중경로에 의한 수신전력이 20dB 이상 차이가 나는 것을 알 수 있다. 제일 큰 피크와 비교해서 2.4GHz 대역(a,c,e)에서는 30dB, 5.8GHz 대역(b,d,f)에서는 25dB 정도 아래에 수신된 신호는 잡음으로 처리해도 무관하다. c,d의 경우는 송수신기 사이에 벽이 하나 또는 두 개 있는 경우로 충격응답의 절대치가 10-20dB 정도 감소하며 다중경로에 의한 수신전력이 15-20dB 정도 나타나는 것을 알 수 있다. 벽이 없는 경우와 비교해보면 시간 축에서 상대적인 신호의 확산이 이루어진 것을 볼 수 있다. 이는 벽에서 투과 및 반사가 다중적으로 이루어졌기 때문이다. e,f는 송수신기 사이에 벽이 두 세 개 존재하는 경우로 충격응답의 절대치가 더 줄어들었으며 다중경로에 의한 수신전력이 10-15dB 정도 나타나고 있다. e의 그림에서 보면 처음 피크가 나타난 뒤 300ns 정도 지난 부분에 다시 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 50여 미터 앞에 위치한 아파트 건물에 반사되어 들어온 다중경로 때문인데 발코니 위치에서 측정된 경우에서만 의미있는 신호

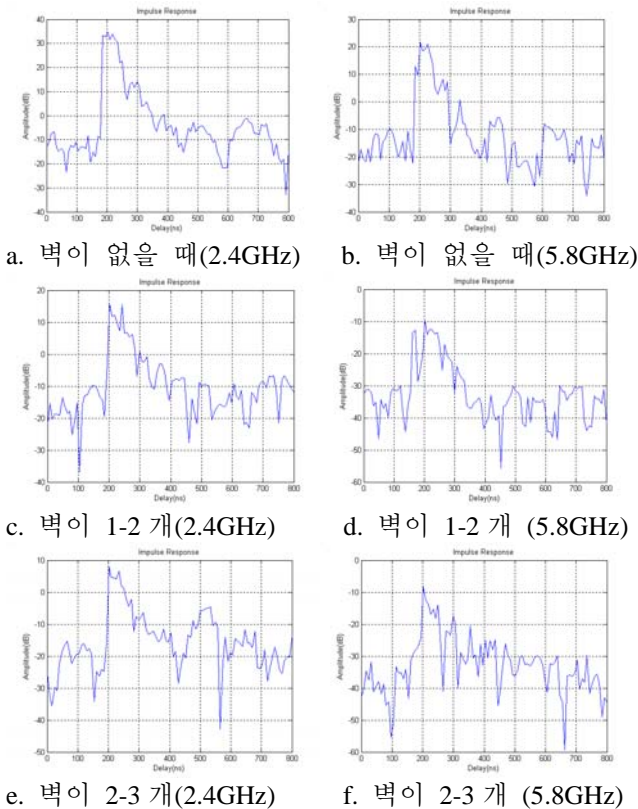


그림 3. 채널의 충격응답

가 수신되었고 건물 내부로의 재투과는 거의 이루어지지 않았다. 또한 f에서는 이러한 현상이 관찰되지 않았는데 이는 5.8GHz 대역에서의 감쇄가 2.4GHz 대역에서의 감쇄보다 더 많았기 때문이다. 전반적으로 전자파 이론에서 예측하는 바와 같이 5.8GHz 대역의 전파 감쇄량이 2.4GHz 대역의 감쇄량보다 크다는 것을 알 수 있다.

#### 3.2. 채널 파라미터

3.1.절에서 구한 채널의 충격응답 데이터를 통계 처리하여 채널의 중요 파라미터인 평균 초과 지연(mean excess delay) 및 RMS 지연 확산(Root Mean Square delay spread)을 표 I, 표 II에 나타내었다[6]. 표 I은 2.4GHz 대역에서의 실험 결과이고 표 II는 5.8GHz 대역에서의 실험 결과이다. A1에서 A5까지는 LOS의 경우를 나타내며, B1에서 B7까지는 벽이 하나 또는 두 개 있는 경우, C1에서 C5까지는 벽이 두 개 또는 세 개 존재하는 경우를 나타낸다. 표 I에서 보면 B3, B4의 경우는 벽이 하나 또는 둘 있는 경우지만 송수신기 사이에 벽이 비스듬히 있는 경우로 상대적인 투과 거리가 길어지기 때문에 두 파라미터가 모두 크게 나타났다. 그리고 C3, C5의 경우는 벽이 두 세 개 있는 경우지만 거리가 상대적으로 가깝기 때문에 C1, C2, C4의 경우보다 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 채널 파라미터 자체는 주파수 대역에 크게 상관없기 때문에 표 II도 비슷한 경향을 보여주고 있지만 C의 경우 즉 벽이 두 세 개 있는 경우는 그림 3.f에서 보는 것과 같이 채널의 충격응답이 상대적으로 작으므로 계산한 것임을 감안해야 한다.

표 I. 2.4GHz 대역의 채널 파라미터 (단위 : ns)

	mean excess delay		rms delay spread	
	평균	표준편차	평균	표준편차
A 1	33.0	8.4	62.0	26.4
A 2	43.1	10.5	66.8	20.5
A 3	49.5	10.1	63.4	17.3
A 4	34.0	7.2	71.6	29.3
A 5	27.1	7.5	67.8	25.9
B 1	41.3	9.3	66.6	22.4
B 2	37.8	10.7	89.9	28.7
B 3	114.9	44.6	234.6	52.8
B 4	150.5	66.1	267.2	62.3
B 5	31.8	6.2	61.7	24.3
B 6	40.0	6.3	70.1	22.5
B 7	31.6	7.6	72.5	24.9
C 1	128.0	36.7	245.3	41.6
C 2	98.9	24.6	188.5	38.3
C 3	48.8	10.3	108.7	26.2
C 4	82.1	22.4	186.8	32.8
C 5	43.9	8.4	107.8	30.9

표 II. 5.8GHz 대역의 채널 파라미터 (단위 : ns)

	mean excess delay		rms delay spread	
	평균	표준편차	평균	표준편차
A 1	31.9	9.0	71.3	31.0
A 2	39.1	9.2	72.3	26.7
A 3	36.7	11.0	77.5	29.3
A 4	37.6	8.6	67.2	25.5
A 5	35.4	7.3	66.9	26.3
B 1	45.5	12.4	108.0	32.5
B 2	56.3	20.1	133.2	42.5
B 3	117.4	53.4	235.9	58.1
B 4	142.6	58.5	256.6	58.6
B 5	42.5	12.7	109.6	37.0
B 6	47.8	14.9	113.0	37.4
B 7	42.1	18.4	115.8	44.7
C 1	528.4	47.0	375.8	22.4
C 2	83.1	31.1	186.2	48.2
C 3	241.1	75.9	331.9	42.4
C 4	347.4	85.2	371.0	31.9
C 5	529.4	57.1	373.6	21.7

### 3.3. Tapped Delay Line 모델링

무선 채널의 측정을 바탕으로 통계화한 값을 실제 응용하여 사용할 수 있는 데이터로 만들기 위해서는 채널의 모델링이 수행되어야 한다. 본 논문에서는 가장 널리 쓰이는 채널 모델로 Tapped Delay Line(TDL) 모델을 제시하고자 한다[7]. 본 논문에서 제시하고자 하는 모델은 실내의 경우로 최대 초과 지연이 크지 않으므로 첫 신호가 도달한 후 3-400ns 안에는 거의 모든 신호가 수신되었다[8]. 그리고 200ns 뒤에 수신되는 신호는 상대적인 크기가 30-40dB 이상 감쇄된 것으로 TDL 모델을 만드는데 의미 없는 값이므로 제외했다. 각 탭의 너비는 40ns로 하고 200ns 까지 모두 5 탭의 구간으로 데이터를 처리하여 표 III, 표 IV 와 같은 결과를 도출하였다. 2.4GHz 와 5.8GHz 의 경우 모두 첫번째 탭과 마지막 탭의 크기가 LOS 에서는 30dB 가량 차이가 나는 것을 알 수 있다. 2.4GHz 대역에서는 벽이 두 세

개 있는 경우도 LOS 의 경우와 20dB 정도 차이가 나는 반면에 5.8GHz 대역에서 벽이 두 세 개 있는 경우는 LOS 에 비해서 40dB 가량 차이가 나는 것을 알 수 있다. 따라서 5.8GHz 대역에서는 벽이 두 세 개 존재하는 경우 또는 다른 가옥에 위치한 AP(Access Point)를 사용해서는 사실상 서비스를 제공하기가 힘들 것으로 예상된다.

표 III. 2.4GHz 대역의 TDL 모델 (단위 : dB)

	1st Tap	2nd Tap	3rd Tap	4th Tap	5th Tap
A	26.44	20.82	12.35	5.44	-3.05
B	17.29	12.10	2.39	-5.15	-11.15
C	5.11	-0.73	-9.17	-16.93	-20.29

표 IV. 5.8GHz 대역의 TDL 모델 (단위 : dB)

	1st Tap	2nd Tap	3rd Tap	4th Tap	5th Tap
A	19.02	13.82	3.18	-3.32	-9.59
B	-3.87	-10.79	-20.50	-27.79	-31.04
C	-19.81	-24.94	-29.58	-32.26	-33.38

표 III, 표 IV 에서 제시한 TDL 모델을 분석하여 탭 간의 상관계수를 계산하여 표 V, 표 VI 에 제시하였다. 첫 행에 (1,2),(1,3),...으로 나타낸 것은 각각 첫 번째와 두 번째 탭, 첫 번째와 세 번째 탭의 상관계수를 나타낸 것이다. LOS 의 경우에는 첫 번째 탭과의 상관관계가 작지만 송수신기 사이에 벽이 있는 경우에는 첫 번째와 두 번째 세 번째 탭의 상관계수가 큰 것으로 나타났다. 이는 LOS 의 경우 첫 번째 경로 주위에 대부분의 전력이 존재하여 다른 탭 구간에는 지속적인 다중 경로가 나타나지 않는 것으로 볼 수 있다. 반면 송수신기 사이에 벽이 있는 경우에는 다중 경로에 의해 지속적으로 신호가 수신되고 있다고 볼 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 현재 널리 서비스되고 있는 2.4GHz 대역 및 차후 서비스 예정인 5.8GHz 대역의 무선 채널을 아파트 환경에서 측정하여 분석 제시하였다. 측정 데이터를 이용하여 채널의 충격 응답을 도출하였으며 그것을 계산하여 채널의 주요

표 V. 2.4GHz 대역의 TDL 모델의 상관 계수

구분	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(3,4)	(3,5)	(4,5)
A	0.06	-0.16	-0.20	-0.10	0.45	0.33	0.26	0.76	0.64	0.82
B	0.70	0.45	0.35	0.30	0.74	0.55	0.46	0.69	0.55	0.74
C	0.52	0.39	0.26	0.16	0.76	0.55	0.34	0.65	0.37	0.71

표 VI. 5.8GHz 대역의 TDL 모델의 상관 계수

구분	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(3,4)	(3,5)	(4,5)
A	0.40	0.26	0.21	0.22	0.69	0.71	0.48	0.75	0.52	0.65
B	0.58	0.31	0.36	0.33	0.66	0.53	0.44	0.69	0.51	0.54
C	0.74	0.67	0.65	0.51	0.89	0.73	0.59	0.78	0.60	0.63

파라미터인 평균 초과 지연 및 RMS 지연 확산 등을 계산하여 제시하였다. 5.8GHz 대역에서는 2.4GHz 대역에 비해 상대적으로 전파의 감쇄가 크게 나타났으나 채널 파라미터의 계산에는 큰 차이가 없었다. 측정 데이터를 통계적으로 처리하여 제시한 Tapped Delay Line 모델에서는 벽을 두 세 개 통과하여 도달하는 부분에서는 신호의 감쇄가 심하여 정상적인 서비스를 제공하기가 어려울 것으로 예상되었으며 NLOS 환경에서는 지속적인 신호가 존재하기 힘들기 때문에 탭간의 상관 계수가 작은 값을 가짐을 알 수 있었다. 앞으로는 본 논문에서 제시한 TDL 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 무선 통신 시스템의 성능 분석을 수행할 수 있을 것이다.

## Acknowledgement

본 논문은 Brain Korea 21 사업 및 대학 IT 연구센터 육성지원사업(ITRC)의 연구 결과로 작성되었습니다.

## 5. 참고 문헌

- [1] Chia-chin Chong, Chor-Min Tan, David I. Laurenson, J. Stephen McLaughlin, Mark A. Beach, and Andrew R. Nix, "A new statistical wideband Spatio-temporal channel model for 5-GHz and WLAN systems," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 21, no. 2, pp.139-150, Feb. 2003.
- [2] J. Medbo, H. Andersson, P. Schramm, H. Asplund, and J.-E. Berg, "Channel Models for HIPERLAN/2 in Different Indoor Scenarios," *Bradford, U.K., Tech. Rep. COST 259 TD(98)070*, 1998.
- [3] Jinwon Choi, Doyoung Kwak, Noh-Gyoung Kang, Jaewon Lee, Hakhoon Song and Seong-Cheol Kim, "5GHz wideband channel model in apartment building," *International Conference on Antennas, Radar, and Wave Propagation*, pp.1-6, Jul. 2005.
- [4] Chia-Chin Chong, Su Khiong Yong, "A Generic Statistical-Based UWB Channel Model for High-Rise Apartments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 53, Issue 8, Part 1, Aug. 2005 pp.2389 – 2399.
- [5] D. C. Cox, "Delay Doppler Characteristics of Multipath Propagation at 910 MHz in a Suburban Mobile Radio Environment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-20, NO. 5, September, 1972.
- [6] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel 2nd/E*, John Wiley & Sons, 2000.
- [7] J. A. Wepman, J. R. Hoffman, L. H. Loew, "Analysis of impulse response measurements for PCS channel modelling applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 44, Issue 3, Aug. 1995 pp.613 – 620.
- [8] 송학훈, 김성철, 이재원, "5.8GHz 대역에서의 광대역 실내무선채널 측정," *추계마이크로파 및 전파 학술대회*, vol. 24, No. 2, pp. 411-414, 2002.